

The European UP/VE Resin Association Safe Handling Guide No. 2:

Narażenie zawodowe na działanie styrenu



Podczas stosowania nienasyconych żywic poliestrowych, UP, istnieje potencjalne zagrożenie narażenia na opary monomeru styrenu. W krajach członkowskich Unii Europejskiej odpowiedzialność za kontrolę substancji szkodliwych oraz zagwarantowanie iż stężenie tych substancji w miejscu pracy nie przekracza Najwyższego Dopuszczanego Stężenia (NDS; ang: OEL – Occupational Exposure Limit) spoczywa na pracodawcach. W Tabeli 2 zestawiono wartości OEL dla monomeru styrenu dopuszczone w krajach UE. Stężenie oparów styrenu podane jest w ppm'ach jako ważona średnia w ciąg 8-godzinny wymiaru czasu pracy.

Dodatkowo, w niektórych krajach określone zostały Dopuszczalne Wartości Narażenia w Krótkim Okresie Czasu (ang: STEL – Short-Term Exposure Limit) - wynoszącym zwykle 15 minut - oraz Progowe Wartości Graniczne (ang: TLV – Threshold Limit Value). O ile chwilowe stężenie OEL może być przekroczone w krótkim przedziale czasu – przy adekwatnym rozpoznaniu i oszacowaniu ryzyka z tym związanego – o tyle wartości TLV nie mogą być przekroczone pod żadnym względem.

Dodatkowo, w następstwie rozporządzenia REACH EC 1907/2006 podmioty dokonujące rejestracji substancji szkodliwych (ich producenci, importerzy oraz przetwórcy) zobowiązani zostali do określenia najwyższego poziomu narażenia ludzi na substancję szkodliwą (ang: DNEL / Derived No Effect Level) w Rozszerzonych Kartach Charakterystyki Substancji Niebezpiecznych (ang: eSDS – extended Safety Data Sheet).

Wymagania dotyczące pomiarów i monitorowania emisji

Istnieje szereg standardów precyzujących wymagania dotyczące pomiaru emisji substancji chemicznych w środowisku pracy oraz ryzyka narażenia na nie pracowników. W przypadku styrenu zastosowanie mają:

EN 838 1996 Powietrze w miejscu pracy.

Wymagania i metody testowania dotyczące wykrywania gazów i oparów.

EN 689 1996 Powietrze w miejscu pracy.

Wskazówki dotyczące oceny narażenia wynikającego z wdychania środków chemicznych, do porównania z wartościami granicznymi i systemem pomiarów.

CEN/TC137

Opublikowane normy związane z narażeniem w miejscu pracy na

Narażenie zależy od techniki przetwarzania

Wysokość emisji styrenu z powierzchni żywicy zależy w znaczący sposób od zastosowanej techniki. Na szybkość i stopień parowania styrenu wpływ mają czynniki takie jak: rodzaj żywicy, proces aplikacji, zastosowany sprzęt oraz jego projekt i konfiguracja. W celach informacyjnych w tabeli poniżej (rys. 1) i na rys. 7 (str. 9) przedstawiono typową, procentową utratę styrenu podczas różnych metod przetwarzania.

Proces	Utrata styrenu %
Natrysk żelkołu	10-14
Natrysk bez żywicy LSE	7-10
Żelkoł, nakładanie pędzlem	6-8
Metoda nawijania	5-7
Laminowanie ręczne, bez żywicy LSE	4-6
Natrysk, żywice LSE/LSC	4-6
Nawierzchniowo, natrysk	4-5
Nawierzchniowo, nakładanie pędzlem	3-4
Laminowanie ręczne, żywice LSE/LSC	3-4
Pultruzja (metoda ciągnięcia/przeciągania)	1-3
Polimerobeton, itp.	1-3
Laminowanie ciągłe	1-2
Wytwarzanie tłoczyw SMC/BMC	1-2
Przetwarzanie tłoczyw SMC/BMC	1-2
Procesy zamknięte (metoda RTM/RTM lekka/infuzyjna)	<1

W oparciu o dane zestawione w Tabeli 1 możliwe jest oszacowanie prawdopodobieństwa przekroczenia Najwyższego Dopuszczonego Stężenia (OEL) zestawiając ze sobą wartości emisji styrenu dla danego procesu z wydajnością systemu wentylacyjnego zamontowanego w hali produkcyjnej/przetwórczej.

Abb. 2 Zestawienie wartości OEL dla monomeru styrenu dopuszczone w krajach UE

Kraj	8-hour TWA (ppm)	15 min STEL (ppm)
Austria	20	80
Belgia	25	50
Bulgaria	20	50
Chorwacja	100	250
Czechy	24	90
Dania	-	25*
Estonia	20	50
Finlandia	20	100
Francja	23.3	46.6
Niemcy	20	40 (4x15 mins)
Grecja	100	250
Węgry	50	50*
Irlandia	20	40
Włochy	10	20
Łotwa	2.4	7
Litwa	20	50
Holandia	20	20*
Norwegia	25	37.5
Polska	12	47
Portugalia	20	40
OSIĄGNIJ DNEL	20	68
Rumunia	12	35
Słowacja	20	50*
Słowenia	20	80
Hiszpania	20	40
Szwecja	10	20
Szwajcaria	20	40 (4x10 mins)
Zjednoczone Królestwo	100***	250
Stany Zjednoczone	10	20

* Górny pułap

*** Wymagana redukcja do minimalnego

Ocena stopnia narażenia w miejscu pracy

Regularna ocena stopnia narażenia na styren w miejscu pracy jest zagadnieniem kluczowym. Stosować dostępny na rynku sprzęt do pomiaru narażenia pracowników i monitorowania poziomu styrenu w powietrzu.

Stosowanie takiego sprzętu umożliwia monitorowanie stopnia narażenia oraz gdy to konieczne wykonywanie odpowiednich pomiarów by zapewnić zgodność z przepisami krajowymi lub miejscowymi.

Stężenia styrenu w miejscu pracy oraz wydajność wentylacji mogą zostać poddane ocenie w następujący sposób: zakładając parowanie na poziomie 1 kg styrenu na godzinę, by uzyskać stężenie w miejscu pracy poniżej 20 ppm należy zapewnić około 12.000m³ powietrza, tak by styren mógł być usuwany z niego z zachowaniem warunku co do stężenia. Ocena wymaganej wydajności wentylacji można wykonać na podstawie współczynników emisji dla różnych procesów podanych w Tabeli 1 oraz godzinne zużycia żywicy.

Wprowadzanie procesów zamkniętych - o ile to tylko możliwe - jest opłacalną inwestycją. Nie tylko pozwala na znaczące ograniczenie emisji oparów (patrz Tabell 1) ale także pozwala na ujednolicenie jakości produktów. Do procesów zamkniętych zalicza się metodę RTM, metodę wtryskową (także formowanie w autoklawie) oraz metodę infuzyjną.

Przykład

Załóżmy że w trakcie godzinnego laminowania ręcznego zużywa się 50 kg żywicy LSE (ang: Low Styrene Emmission). Oznacza to, że utrata styrenu w postaci emisji w trakcie jednej godziny wynosi 1,5 kg.

Utrzymanie koncentracji styrenu na poziomie poniżej 20 ppm wymaga więc zastosowanie wentylacji o minimalnej wydajności 18 000 m³ na godzinę. W praktyce wydajność układu powinna być wyższa jako że zawsze będziemy mieć do czynienia z fluktuacjami w równomiernym rozprowadzeniu styrenu w powietrzu. Zwykle, w przypadku laminowania ręcznego, powietrze w hali produkcyjnej powinno być wymieniane 10-15 razy na godzinę. W przypadku aplikacji z zastosowaniem natrysku, częstotliwość wymiany powietrza będzie zdecydowanie wyższa.

Utrzymywanie poziomu narażenia na niskim poziomie

Istnieje szereg sposobów na utrzymanie ryzyka narażenia na niskim poziomie. Niektóre z nich związane są z odpowiednim doбором surowców, inne z wyborem aparatury a jeszcze inne ze świadomym i zaangażowanym podejściem pracowników. Poniżej umieszczone zostały ogólne informacje i sugestie dotyczące kontroli narażenia.

Czystsze przetwarzanie

Prawidłowe utrzymywanie porządku w miejscu pracy może mieć znaczący wpływ na utrzymanie narażenia na styren na niskim poziomie. Dodatkowo, ma to także bardzo korzystny wpływ na poziom bezpieczeństwa oraz koszty operacyjne. W każdej sytuacji gdzie jest to możliwe należy stosować żywice LSE o możliwie najniższym stężeniu styrenu.

Unikanie otwartych wiader i kubłów na żywice/żelkoty

Składowanie żywic i żelkotów powinno mieć zawsze miejsce w oddzielnym, dobrze wentylowanym pomieszczeniu. Należy unikać nadmiernego rozpylania oraz pozostawiania otwartych pojemników z żywicami/żelkotami. Ewentualne wycieki i zachlapania należy możliwie szybko usuwać.

Utrzymywanie niskiej temperatury w hali produkcyjnej

Wysoka temperatura w hali produkcyjnej sprzyja zwiększonemu parowaniu styrenu i w rezultacie także zwiększeniu narażenia i emisji. Należy unikać stosowania otwartych pojemników na odpady oraz upewnić się by wszelkie resztki laminatu oraz zanieczyszczone szmaty i papiery były zawsze wrzucane do zamykanego pojemnika. Tego typu pojemniki powinny być przenoszone na zewnątrz hali albo do dobrze wentylowanego obszaru po zakończonym procesie laminowania.

Mimo, że narażenie na styren jest spowodowane przede wszystkim przez inhalację, należy również unikać nadmiernego kontaktu skóry z żywicami poprzez stosowanie odpowiedniej odzieży ochronnej i okularów.

Stosowanie procesów formowania zamkniętego

O ile to możliwe zaleca się stosowanie technik nie wymagających rozpylania żywic w celu ich nałożenia takich jak podawanie za pomocą rolek lub ewentualnie stosowanie nowoczesnych urządzeń natryskowych. Zautomatyzowane napyłanie zalecane jest w przypadku dużych partii produkcyjnych.



Emisja styrenu może być znacząco zredukowana poprzez wprowadzenie technik formowania zamkniętego takich jak infuzja żywicy (1) lub wtryskiwanie żywicy (2).

Metody monitorowania narażenia na działanie styrenu



Podczas przetwarzania nienasyconych żywic poliestrowych (żywice UP) pracownicy są narażeni na działanie styrenu. W większości krajów europejskich zdefiniowano wartości graniczne określające maksymalny poziom narażenia zawodowego na działanie styrenu.

Te ustalone przez prawo wartości są objaśnione w Biuletynie technicznym nr. 3 należącym do tej serii biuletynów. Narażenie na styren może być mierzone na kilka sposobów poczynając od prostej zmieniającej kolor rurki a kończąc na systemie długoterminowego monitorowania danych.

Ten biuletyn zawiera przegląd różnych dostępnych metod oraz informacje pozwalające wybrać najlepszą metodę dla danych warunków.

Wymagania prawne dotyczące monitorowania i pomiaru styrenu

Określona liczba norm europejskich wymienia wymagania co do pomiarów powietrza w miejscu pracy oraz narażenia pracowników na działanie środków chemicznych, takich jak styren:

EN 838 1996

Powietrze w miejscu pracy. Próbki dyfuzyjne do określenia zawartości gazów i oparów. Wymagania i metody testowania.

EN 689 1996

Powietrze w miejscu pracy. Wskazówki dotyczące oceny narażenia wynikającego z wdychania środków chemicznych, do porównania z wartościami granicznymi i systemem pomiarów.

CEN/TC137

Opublikowane normy związane z narażeniem w miejscu pracy na substancje chemiczne.

Zgodnie z większością rozwiązań legislacyjnych pracodawca jest odpowiedzialny za pomiary i monitorowanie stężenia niebezpiecznych substancji w powietrzu. Firma może pomiary wykonywać samemu lub zatrudnić zewnętrzną firmę by wykonywała je w jej imieniu.

Dokładność i reprezentatywność danych zebranych w trakcie monitorowania miejsca pracy zależy w dużym stopniu od jakości próbkowania. Wpływ na to będzie miało wiele czynników takich jak typ realizowanego procesu; warunki działania wentylacji; pora dnia; temperatura; położenie w trakcie cyklu formowania w momencie wykonania pomiaru; oraz odległość urządzenia pomiarowego od pracownika.

Prawidłowa ocena rzeczywistego narażenia na styren może być więc wykonana jeżeli pomiary są wykonywane w połączeniu z fizyczną obserwacją pracownika.

Systemy pomiarowe i parametry

Najprostszy sposób pomiaru stężenia styrenu w powietrzu polega na użyciu szklanej rurki zawierającej środek, który odbarwia się gdy jest narażony na działanie styrenu. Stopień odbarwienia jest wskaźnikiem stopnia stężenia styrenu.

Takie rurki są użyteczne podczas szybkiego i miejscowego badania poziomów stężenia ale nie mogą one zastępować metod kontrolowanego, dokładnego i długoterminowego monitorowania.

Jeżeli narażenie na styren jest mierzone w celu sprawdzenia zgodności z prawnie określonymi wartościami granicznymi narażenia, takimi jak średnia wartość w ciągu 8 godzin sprzęt należy dobrać tak, aby móc zmierzyć średnie stężenie styrenu w ciągu dnia.

Do takich zadań świetnie nadają się wskaźniki z węglem aktywnym oraz rurki Tenax.

Sam wskaźnik z węglem aktywnym nie pozwala jednak uzyskać informacji o wariacji narażenia na styren wynikającej z warunków przetwarzania, wentylacji w hali produkcyjnej oraz usytuowania pracownika podczas pracy. W takim przypadku należy stosować urządzenie, które zapisuje i przechowuje wartości stężenia styrenu w pamięci wewnętrznej.

Odczyt danych i porównanie wyników z czynnościami wykonywanymi przez pracownika podczas pomiarów pozwala uzyskać cenne informacje o związku pomiędzy czynnościami a wartościami narażenia.

Gdy operator korzysta ze sprzętu ochronny osobistej, takiego jak maska gazowa dostarczająca przefiltrowane powietrze, to otrzymany wynik stężenia styrenu w powietrzu będzie zbyt wysoki co do oceny narażenia.

W takich wypadkach najlepiej jak narażenie będzie ocenione za pomocą monitoringu biologicznego: badając produkty rozkładu styrenu występujące w moczu (kwas migdałowy(MA) oraz kwas fenyloglioksalowy (PGA) pobrane pod koniec zmiany pracownika.



Badge monitoring and data analysis system for recording workplace styrene

Metody pomiarów i przyrządy do pomiarów

Na rynku jest dostępna duża ilość różnych przyrządów do monitorowania i analizy. Podana poniżej lista nie wyczerpuje wszystkich możliwości i nigdzie nie twierdzimy, że sprzęt czy usługi oferowane przez jedną firmę są lepsze niż te, które oferuje inna firma.

Pomiary miejscowe

Następujące firmy oferują szklane rurki ze środkiem odbarwiającym się: Kitagawa (www.komyokk.co.jp), Dräger (www.draeger.com)

Badanie narażenia w związku z wymaganiami prawnymi

Średnie 8 godzinne stężenie może być mierzone kilkoma metodami. Najczęściej stosowane są wskaźniki z węglem aktywnym, dostarczane na rynek przez kilka firm, min. 3M (www.3M.com).

Inną metodą pomiarów średniego 8-godzinnego stężenia jest adsorpcja w rurkach Tenax (www.sgab.com) lub użycie filmów zmieniających kolor (www.piezoptic.com)

Sprzęt do monitorowania styrenu z zapisem danych

Dostępne jest kilka rodzajów przenośnych urządzeń, które umożliwiają zachowanie pomiarów. Detekcja Fotojonizacyjna (PID) jest metodą detekcji o bardzo szybkim czasie reakcji i szerokim zakresie mierzenia.

Urządzenia PID są dostarczane przez Rae Systems (www.raesystems.com) oraz Ion Science (www.ionscience.com). Przenośne urządzenia są również dostępne przez Draeger (www.draeger.com) (DraegerPAC III) oraz Check-it (www.c-it.nl).

Mogą być również stosowane metody oparte na badaniach w zakresie promieniowania podczerwonego i chromatografii gazowej, zwłaszcza gdy pomiary mają dotyczyć więcej niż jednego szkodliwego gazu.

W większości przypadków taki sprzęt jest stosowany tylko w badaniach naukowych gdyż jest on zbyt drogi w przypadku codziennego stosowania.

Metoda monitorowania Korzystanie z metody	Rurki Kitagawa ; Draeger	Wskaźniki z węglem	PID PAC III IR	Monitoring biologiczny
Szybka ocena	Tak	Nie	Nie	Nie
Sprawdzenie przekroczenia TLV	Nie	Tak	Tak	Tak
Ocena z całego dnia pracy	Nie	Tak	Tak	Tak
Nakierowanie na operatora w czasie rzeczywistym	Nie	Nie	Tak	Tak
Informacje o procesie	Nie	Tak	Tak	Tak
Raport o higienie zawodowej	Nie	Tak	Tak	Tak
W połączeniu z ochroną osobistą	Nie	Nie	Nie	Tak
Dokładność	Nie	Tak	Tak	Tak



Combined Photo-Ionisation Detection (PID) and gas monitoring system.

Wentylacja w miejscu pracy w przemyśle przetwórstwa poliestrów



Podczas stosowania nienasyconych żywic poliestrowych (UP) albo innych produktów zawierających styren zachodzi parowanie styrenu w postaci monomerów w czasie aplikacji, zwłaszcza w trakcie procesów formowania otwartego.

Aby utrzymać narażenie pracowników poniżej progowej wartości granicznej (TLV), ważne jest zapewnienie odpowiedniej konfiguracji warsztatu oraz odpowiednich zasad utrzymywania porządku. Należy wybrać sprzęt służący do stosowania, który zapewni zmniejszone parowanie styrenu podczas użycia.

Jeżeli to możliwe, zawsze stosować żywice o niskiej emisji styrenu (ang. Low Styrene Emission, LSE) albo żywice o niskiej zawartości styrenu (ang. Low Styrene Content, LSC). Odpowiednia wentylacja w miejscu pracy oraz właściwe środki ochrony osobistej są także niezbędne, aby zmniejszyć poziom narażenia.

W niniejszym poradniku przedstawiono zasady wentylacji w miejscu pracy. Ponadto zawarto w nim informacje, jak oszacować wymaganą wydajność wentylacji w warsztacie przetwórstwa poliestrów.

Zasady wentylacji

W czasie pracy z żywicami poliestrowymi większość oparów styrenu jest tworzona w czasie formowania. Należy je usuwać z powietrza z miejsca położonego jak najbliżej źródła. Zapewnia to najbardziej wydajną wentylację warsztatu i oznacza, że opary styrenu można usuwać w stosunkowo wysokich stężeniach przy niskiej objętości przemieszczenia powietrza.

Jeżeli opary styrenu mogą się rozprzestrzeniać po warsztacie, wydajność wentylacji potrzebna do ich usunięcia jest znacznie większa.

Dlatego system wentylacji należy projektować tak, aby to uwzględnić. Nie ma jednak standardowego schematu wentylacji dla warsztatu przetwórstwa poliestrów, ponieważ zależy to między innymi od objętości zastosowanej żywicy oraz metody przetwarzania. Znaczne wahania zużycia żywicy prowadzą do silnych wahań emisji.

Tym samym wydajność wentylacji należy zaprojektować tak, aby uwzględnić maksymalną emisję. **Zasadniczo istnieją trzy różne metody wentylacji, przy czym każda z nich ma swoje wady i zalety.**

Ogólna wentylacja w warsztacie

W czasie stosowania ogólnej wentylacji w warsztacie (zwanej także wentylacją rozcieńczającą) całkowita objętość powietrza w warsztacie jest wymieniana kilka razy na godzinę.

Tego typu wentylacja jest popularna, ponieważ jest stosunkowo prosta i daje znaczną elastyczność przemieszczania materiałów i produktów w warsztacie. Wadą jest wyjątkowo wysokie przemieszczanie powietrza konieczne do utrzymania stężenia styrenu na pożądanym poziomie. W okresach chłodu może to prowadzić do nadmiernych kosztów ogrzewania.

Ogólna wentylacja w warsztacie nie zawsze jest wystarczająca, zwłaszcza w przypadku dużych form, takich jak łodzie czy silosy.

W takich przypadkach do ogólnej wentylacji miejsca pracy często dodawane są dodatkowe wentylatory, które przedmuchują strumień powietrza z dala od operatora. Ale nieuchronnie prowadzi to do dalszego rozprzestrzeniania się oparów styrenu w całym warsztacie.

Dlatego w czasie stosowania wentylacji ogólnej ważne jest, aby prędkość powietrza była jak najniższa. Ten typ wentylacji jest często uzyskiwany dzięki doprowadzeniu świeżego powietrza przez tekstylne węże umieszczone pod sufitem warsztatu (rys. 1).

Powietrze z wysokim stężeniem styrenu jest wciągane blisko poziomu podłogi. Wentylacja ogólna stosowana samodzielnie jest wystarczająca tylko w przypadku niewielkich form.

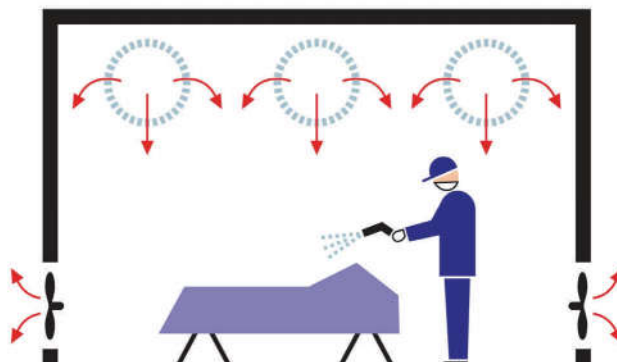


Fig1. Airflow through textile hoses.

Wentylacja lokalna

Jest to bardziej wydajna metoda niż ogólna wentylacja w warsztacie, ponieważ opary styrenu są usuwane przez okapy wentylacyjne zainstalowane jak najbliżej miejsca tworzenia się styrenu (rys. 2).

Lokalne okapy wentylacyjne mogą być elastyczne, dzięki czemu zachowana zostaje ich wydajność nawet w procesie produkcji różnych produktów. Aby okapy wentylacyjne były wydajne, należy je umieścić jak najbliżej obszaru roboczego. Okapy wentylacyjne mogą stanowić przeszkodę w swobodnym przemieszczaniu się wokół formy, co stanowi istotną wadę.

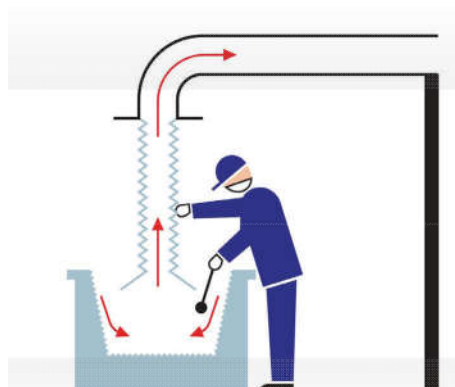


Fig 2. Spot extraction with flexible hose

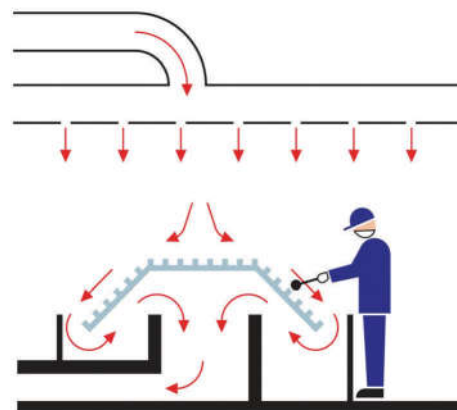


Fig 3. Out-mould induction 'push-pull'.

Jeżeli okapy wentylacyjne są połączone z układem strumieni powietrza wypychających powietrze zawierające styren bezpośrednio do okapu wentylacyjnego, powstaje tak zwany system push-pull (wypychanie-przyciąganie), który bardzo skutecznie zmniejsza narażenie na styren.

Stoły do formowania laminatów niewielkich części można wyposażyć w otwarte blaty z przepływem w dół oraz półzamknięte okapy wentylacyjne (rys. 3). Dobrym przykładem wentylacji lokalnej jest stosowanie kanałów zasysających w podłodze warsztatu w połączeniu z dostawą świeżego powietrza znad formy. W ten sposób w czasie pracy operator zawsze oddycha świeżym powietrzem (rys. 4).

Wentylacja lokalna jest najbardziej skuteczna, gdy w stałym miejscu wytwarzane są stosunkowo nieduże produkty.

Wentylacja strefowa

Wentylacja strefowa łączy wentylację ogólną i lokalną. W takim przypadku część całego warsztatu albo przedziału jest wentylowana w taki sposób, że styren jest usuwany, zanim rozprzestrzeni się w powietrzu całego warsztatu.

Podział warsztatu na przedziały jest skuteczny tylko wtedy, gdy istnieje odpowiednia równowaga między dostarczaniem świeżego powietrza do przedziału a usuwaniem skażonego powietrza.

Komory do natryskiwania są dobrym przykładem stosowania wentylacji strefowej. Komora do natryskiwania to przedział, który jest mniej więcej oddzielony od reszty warsztatu. Strumień powietrza można wtedy lepiej kontrolować i potrzeba mniejszej ilości powietrza do usunięcia oparów styrenu.

Prędkość powietrza przy wejściu do komory do natryskiwania powinna wynosić od 0,3 do 1,0 m/s, co i tak może skutkować znacznym przemieszczaniem się powietrza. Istnieje wiele różnych sposobów, aby zoptymalizować przemieszczanie powietrza w komorze do natryskiwania.

Na serii rysunku 6 przedstawiono sposób zoptymalizowania przepływu powietrza w komorze do natryskiwania. Na pierwszym szkicu (6a) widać, że otwarty wylot może prowadzić do wystąpienia znacznych turbulencji. Ale jeżeli komora zostanie właściwie zaprojektowana, tak aby kierować przepływ powietrza do tylnej części (rys. 6 seria b-d), wtedy występuje mniej turbulencji i tym samym potrzeba mniejszej ilości powietrza do usunięcia styrenu.

Oszacowanie wymagań dotyczących wentylacji

Tempo parowania styrenu w warsztacie przetwórstwa poliestrów zależy od wielu zmiennych, takich jak typ żywicy, proces aplikacji, stosowany sprzęt do aplikacji, budowa i konfiguracja narzędzi itp.

Ogólnie, na rysunku 7 przedstawiono typową procentową utratę styrenu dla różnych technik przetwarzania, obliczoną jako utrata masy żywicy.

Optymalna konfiguracja komory

Korzystając z tej tabeli, można oszacować wydajność wentylacji.

Warsztat ma wymiary 40 x 20 x 5 m, czyli objętość warsztatu to 8000 m³.

Jeżeli w trakcie laminowania natryskowego zużywa się 150 kg żywicy i stosowana jest żywica LSE/LSC ze wskaźnikiem parowania styrenu 4%, wtedy emisja styrenu na godzinę wynosi 6 kg. Przy założeniu, że ta ilość styrenu rozkłada się jednolicie w atmosferze warsztatu, doprowadzi to do stężenia styrenu wynoszącego 750 mg/m³.

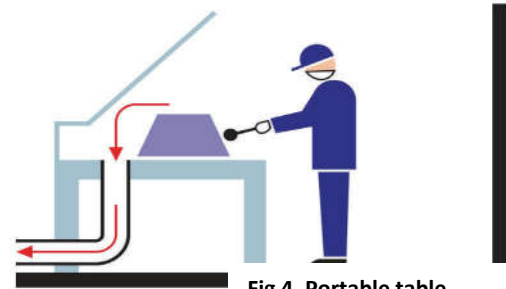


Fig 4. Portable table

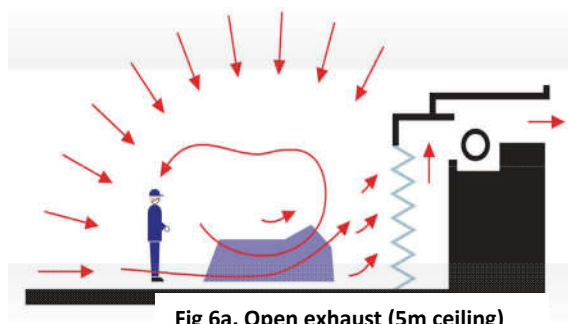


Fig 6a. Open exhaust (5m ceiling)

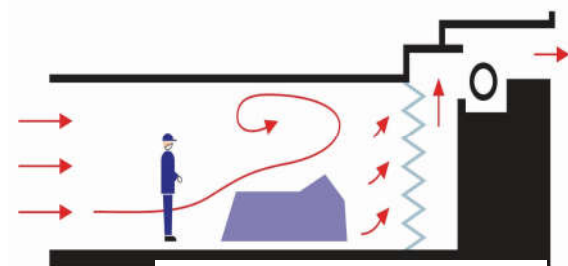


Fig 6b. Booth (5m x 2.5m opening)

Process	Styrene loss (% of resin weight)
Gelcoat Spray	10-14 %
Spray-up, non-LSE resin	7-10 %
Gelcoat, Hand brush	6-8 %
Filament winding	5-7 %
Hand Lay-up, non-LSE resin	4-6 %
Spray-up, LSE/LSC resin	4-6 %
Topcoat, spray	4-5 %
Topcoat, Hand brush	3-4 %
Hand Lay-up, LSE/LSC resin	3-4 %
Pultrusion	1-3 %
Continuous lamination	1-2 %
SMC/BMC Manufacturing	1-2 %
SMC/BMC processing	1-2 %
Closed Processes (RTM/RTM Light/Infusion)	<1%

Fig 7. Styrene loss by process

W przypadku stosowania wentylacji rozcieńczającej można oszacować minimalną wydajność wentylacji potrzebną do utrzymania stężenia styrenu poniżej wartości maksymalnego dopuszczalnego stężenia (ang. Maximum Allowable Concentration, MAC). Przy wartości MAC wynoszącej 108 mg/m^3 (25 ppm) objętość warsztatu należy odświeżać $750 / 108 = 7$ razy na godzinę. Daje to minimalną wydajność wentylacji $56000 \text{ m}^3/\text{h}$.

Rzeczywista wydajność wentylacji może być znacznie wyższa. Jeżeli w tym samym warsztacie jest także regularnie wykonywane żelkotowanie, emisja styrenu jest znacząco wyższa, dlatego wydajność wentylacji musi być odpowiednio większa.

Dzięki odpowiedniemu zaprojektowaniu systemu wentylacji warsztatu można istotnie zmniejszyć koszty. **W praktyce odpowiednio zaprojektowany układ warsztatu i system wentylacji zoptymalizowany pod kątem przepływu i kierunku przepływu będzie się wiązać z niższym wymogiem wydajności wentylacji.**

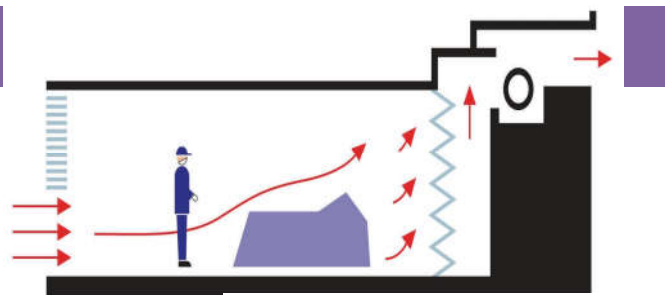


Fig 6c. Booth (5m x 1m opening)

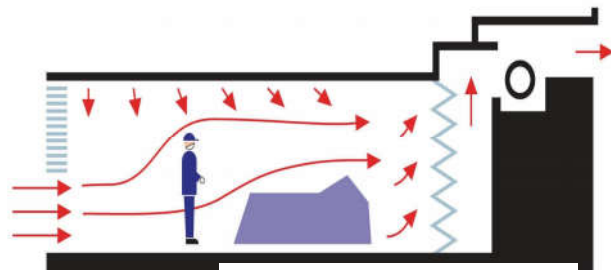


Fig 6d. Booth (air jet support)

Ogólne zalecenia

- Ogólnie błędnym założeniem jest pogląd, że ponieważ opary styrenu są cięższe niż powietrze, od razu będą się kierować w stronę podłogi. Chociaż gęstość par styrenu wynosi 3,6 razy gęstość powietrza, stężenie styrenu wynoszące 500 ppm w powietrzu będzie skutkować wzrostem gęstości wynoszącym tylko 0,13% w porównaniu z czystym powietrzem.
- Tym samym niewielkie prądy konwekcyjne i częste ruchy powietrza spowodują rozprzestrzenienie się styrenu w całym warsztacie.
- Warsztat powinien być zamknięty. Dobrze zaprojektowany system wentylacji będzie skuteczny tylko wtedy, gdy strumień powietrza nie będą zaburzane przez przepływ z otwartych okien lub drzwi. Otworzenie drzwi latem w celu obniżenia temperatury często skutkuje wyższym narażeniem na styren.
- Należy unikać wdychania oparów styrenu i jeżeli jest to konieczne, stosować środki ochrony osobistej w celu ochrony dróg oddechowych.
- Nie dopuścić do kontaktu żywicy ze skórą i oczami, dzięki noszeniu odpowiedniej odzieży ochronnej, takiej jak rękawice, kombinezon i okulary.
- Żywice UP należy zlewać i mieszać w oddzielnym, dobrze wentylowanym pomieszczeniu, aby zmniejszyć prawdopodobieństwo przedostania się oparów styrenu do pobliskich obszarów roboczych.

Środki ochrony osobistej



Jak w wielu środowiskach przemysłowych, pracujący w przemyśle przetwórstwa nienasyconych żywic poliestrowych (UP) codziennie narażeni są na ryzyka zawodowe. Zastosowanie środków ochrony osobistej (PPE) jest ostatnim z rozwiązań po działaniach związanych z procesem (np. zastosowanie żywic o niskiej emisji styrenu (LSE), zastosowanie żywic o niskiej zawartości styrenu (LSC), technologia odlewania do form zamkniętych) i środkach inżynieryjnych takich jak właściwa ocena wentylacji i, tam gdzie to możliwe, jej wdrożenie.

W celu zwiększenia bezpieczeństwa pracy, często konieczne jest zastosowanie odpowiednich środków ochrony osobistej. Niniejszy przewodnik opisuje typowe zagrożenia zdrowia w przemyśle przetwórstwa żywic UP i zawiera ogólne zalecenia dotyczące odpowiednich środków ochrony osobistej. Zalecenia te należy stosować w połączeniu z polityką firmy i obowiązującymi przepisami państwowymi dotyczącymi bezpieczeństwa pracownika w miejscu pracy.

W celu uzyskania dokładniejszych informacji należy zawsze zapoznać się z arkuszem danych substancji niebezpiecznej dostępnej u producenta.

Ekspozycja na lotne związki organiczne (LZO)

Żywice UP są roztworami polimerów poliestrów rozpuszczonych w reakcyjnych monomerach takich jak styren. Ponieważ nie wiadomo, aby polimery stanowiły poważne zagrożenie, najpowszechniejszym zagrożeniem zdrowia podczas obchodzenia się z żywicami UP jest narażenie na styren oraz inne lotne związki organiczne (LZO).

Styren jest substancją niebezpieczną, która może zostać pochłonięta i rozproszona w organizmie przez wdychanie, połknięcie lub kontakt ze skórą. PPE stosowane są, kiedy zbiorcze środki ochrony nie są wystarczające dla kontrolowania ekspozycji na styren i pozostałe LZO.

Największe zagrożenie ekspozycją występuje w czasie formowania w formach otwartych kompozytów poliestrowych wzmocnianych włóknem szklanym (GRP). Stężenie par styrenu w miejscu pracy (które można mierzyć dostępnymi urządzeniami do monitorowania) może przekraczać graniczne wartości narażenia w miejscu pracy w czasie procesów takich jak układanie ręczne, natryskiwanie i nawijanie wypełnienia. Pozostałe środki chemiczne zwykle obecne w warsztatach GRP to aceton, winyl i metakrylan metylu. Jeżeli zostanie stwierdzone, że wentylacja i praktyki postępowania są niewystarczające, należy zastosować odpowiednią ochronę dróg oddechowych celem zredukowania narażenia na wdychanie LZO.

Bezpośredni, długotrwały lub powtarzany kontakt skóry z UPR lub tymi środkami chemicznymi może spowodować odtłuszczenie, wysuszenie lub podrażnienie i należy go unikać.

Ekspozycja na nadtlenki organiczne

Żywice UP przechodzą ze stanu ciekłego do stanu stałego po odpowiedniej katalizie. Nadtlenki organiczne takie jak nadtlenek ketonu metylowo-etylowego (MEKP) i nadtlenek (di)benzoilu (BPO) stosowane są do sieciowania lub utwardzania żywic UP. Nadtlenki organiczne są agresywnymi środkami chemicznymi, które mogą mieć niszczący wpływ na oczy i skórę.

Należy unikać wszelkiego kontaktu z nadtlenkami organicznymi stosując odpowiednią ochronę oczu i skóry.

Ekspozycja na pyły i mgły

Piaskowanie, szycie, szlifowanie, wiercenie, przycinanie, obróbka skrawaniem i polerowanie kompozytów GRP i utwardzonych żywic UP może powodować powstawanie drobnego pyłu, który może być drażniący dla oczu, skóry i układu oddechowego. Nakładanie natryskiem może, oprócz LZO, powodować powstawanie mgieł żywic oraz włókna szklanego.



Zasilane aparaty oddechowe dają komfort i bezpieczeństwo

W czasie wykonywania takich zadań konieczna jest właściwa wentylacja, szczególnie kiedy pyły mogą zawierać niebezpieczne środki uniemożliwiające palenie, pigmenty i włókno szklane. PPE są konieczne, kiedy środki kontroli inżynierskiej nie są wystarczające do zredukowania zagrożenia ekspozycją.

Ekspozycja na hałas

Ciągła lub przerywana ekspozycja na hałas o poziomie powyżej 80 dBA może powodować nieodwracalną utratę słuchu. W przemyśle GRP, laminaty są zwykle cięte za pomocą piły tarczowej lub wyrzynarki. Inne zagrażające hałasem wyposażenie obejmuje nożyce do włókna szklanego na impulsowym pistolecie natryskowym i maszyny do piaskowania.

Poziom hałasu w czasie wykonywania tych czynności może przekraczać wartości graniczne narażenia i zwiększać ryzyko utraty słuchu w przypadku braku właściwej ochrony słuchu. Badania przeprowadzone na zwierzętach sugerują, że wdychanie styrenu w dużych stężeniach, szczególnie w połączeniu z ekspozycją na hałas, może również prowadzić do pogorszenia słuchu. Dlatego szczególną uwagę należy zwrócić na połączenie ekspozycji na styren i wysoki poziom hałasu.

W większości miejsc pracy występują inne ryzyka nie związane specjalnie z żywicą UP. Przykładami mogą być praca na śliskich lub nierównych powierzchniach, praca na wysokości lub narażenie na spadające przedmioty.

Środki ochrony osobistej dotyczące tych zagrożeń należy ocenić oddzielnie i nie są one objęte tym przewodnikiem.

Ochrona dróg oddechowych

Ochronę przed parami styrenu oraz innymi zanieczyszczeniami znajdującymi się w powietrzu można uzyskać stosując środki ochrony dróg oddechowych, które zostały sprawdzone i oznaczone zgodnie z Normami Europejskimi.

Najczęściej stosowane w przemyśle przetwarzania żywicy UP respiratory są maskami oczyszczającymi powietrze wyposażonymi w wymienne wkłady do filtracji par organicznych typu A. Wkłady typu A zawierają węgiel aktywowany i są skuteczne w przypadku styrenu, toluenu winylowego i metakrylanu metylu.

Wkłady typu AX należy stosować w przypadku rozpuszczalników o niższej temperaturze wrzenia, takich jak aceton. Wkłady z węglem aktywowanym mają ograniczoną trwałość, zależną od czynników takich jak określony środek chemiczny, stężenie, czas użytkowania, częstota oddechów, wilgotność względna, temperatura i warunki przechowywania, kiedy nie jest używany.

Dlatego wkłady do oparów organicznych muszą być wymieniane w regularnych odstępach czasu, celem uniknięcia przebicia.

Filtry typu P stosowane są do cząstek takich jak pył żywicy i włókna szklane. Należy je wymienić kiedy oddychanie staje się trudne. Filtry kombinowane do par organicznych i cząstek stałych dostępne są jako filtrujące maski twarzowe

Dostępny jest szeroki zakres modeli respiratorów i masek, a wybór ich zależy od wymaganego stopnia ochrony. Respiratory z półmaską przykrywają usta, nos i brodę. Maski pełne przykrywają usta, nos, brodę i oczy. Dlatego pełna maska zapewnia ochronę oczu i twarzy, jak również ochronę dróg oddechowych. Ważne jest, aby pamiętać, że taka maska działa poprawnie tylko kiedy występuje dobre uszczelnienie między maską i twarzą. Brody, wąsy i bokobrody mogą zakłócać prawidłowe dopasowanie i działanie maski.

Należy regularnie sprawdzać dopasowanie, celem zweryfikowania uszczelnienia styku maska-twarz. Luźno dopasowane przyłbice lub hełmy powietrzne korzystają zarówno z zasilanej baterii pompy jak i systemu filtra które użytkownik mocuje do pasa. Kaptury zasilane powietrzem zapewniają dopływ świeżego powietrza z węża od pompy lub sprężarki umieszczonych w obszarze niezanieczyszczonym.

Respiratory oczyszczające powietrze nie podają tlenu i nie mogą być używane w atmosferach stanowiących natychmiastowe zagrożenie dla życia. Nadciśnieniowe, niezależne respiratory z elementami ucieczki awaryjnej muszą być zakładane w miejscach, w których istnieje zagrożenie narażenia na niekontrolowane uwolnienie produktu, niski poziom tlenu, w przypadku wchodzenia do przestrzeni zamkniętych, kiedy nie jest znane stężenie powietrza lub występują inne warunki, w których aparaty oczyszczające powietrze mogą nie zapewniać odpowiedniego zabezpieczenia.



Półmaska filtrująca powietrze, z pochłaniaczami par organicznych i filtrami cząstek stałych



Disposable coveralls worn with half face mask and goggles

Wybranie odpowiedniej ochrony dróg oddechowych

Każdy typ i klasa sprzętu ochrony dróg oddechowych (RPE) mają przydzielony zalecany wskaźnik ochrony (ang. Assigned Protection Factor, APF). Wskaźnik APF to liczba oznaczająca stopień ochrony zapewnianej przez RPE. Na przykład, RPE ze wskaźnikiem APF wynoszącym 10 zmniejszy narażenie osoby noszącej dany RPE o czynnik wynoszący co najmniej 10 w przypadku właściwego dopasowania i stosowania. Teoretycznie osoba nosząca RPE będzie wdychać najwyżej jedną dziesiątą ilości substancji obecnej w powietrzu. Przy zastosowaniu nowoczesnego sprzętu wydajność ochrony jest często znacznie wyższa.

Aby zapewnić ochronę przed oparami styrenu zwykle należy stosować aparat oddechowy z filtrem/zasilany ze wskaźnikiem APF 20 lub APF 40 i wyłącznie w przypadku krótkotrwałego narażenia nieprzekraczającego 1 godziny. W przypadku natryskiwania, laminowania ręcznego oraz innych czynności związanych z wysokim narażeniem wysoce zalecany jest zasilany powietrzem kapturek ze wskaźnikiem APF wynoszącym 40 lub APF 200.

Wskaźnik APF 40 oznaczałby wydajność 97,5% przy dolnej granicy (zasilane maski, złożony filtr cząstek stałych). Wskaźnik APF 200 oznaczałby wydajność 99,5% przy dolnej granicy (kapturek z ciągłym przepływem powietrza).

W razie ryzyka utworzenia się mgły aerozolu, wymagany jest złożony filtr organiczny i cząstek stałych. Filtry cząstek stałych powinny być zgodne z normą EN143. Zalecany jest typ P3. Zazwyczaj filtry powinny być zgodne przynajmniej z normą EN14387:2004.

Zazwyczaj ciasno dopasowane maski można zalecać tylko w przypadku krótkotrwałego zastosowania (< 1 godziny). Ciepło i pot mogą powodować dyskomfort u operatora, prowadząc do potrzeby poprawienia maski, co z kolei stanowi możliwość bezpośredniego przypadkowego narażenia.

Zasilane powietrzem kaptury dostarczają świeże powietrze przez wąż z pompy lub kompresora zlokalizowanego w obszarze nieskażonym. Są one zalecane wtedy, gdy praca operatora przekracza 1 godzinę, na przykład w przypadku pracowników na linii przeznaczonej do natryskiwania.

Zasilany powietrzem kaptur zapewnia wysoki poziom ochrony oraz wygodę operatora. Dostawcy zwykle oferują takie modele kapturów, które zapewniają wygodę – są lekkie i elastyczne, można je stosować z filtrami lub systemami doprowadzania powietrza, tym samym są odpowiednie do długotrwałego noszenia.

Filtry należy okresowo sprawdzać i wymieniać, co wymaga ścisłego przestrzegania higieny. Zużyty filtr może być źródłem przypadkowego narażenia. Ponadto ze względu na wydatki związane z regularnym sprawdzaniem i wymianą filtrów instalacja systemu zasilanego powietrzem może być najbardziej opłacalnym podejściem, które oferuje najwyższy poziom bezpieczeństwa i komfortu dla operatora.

Systemy przepływu ciągłego (ang. continuous flow, CF) są lepsze od systemów reagujących na ciśnienie (ang. pressure demand, PD), ponieważ ich stosowanie niesie mniejsze ryzyko wysuszenia skóry i związanego z tym dyskomfortu. Oczywiście takie systemy należy instalować w pełnej współpracy z operatorami oraz niezbędne jest konkretne szkolenie z zakresu prawidłowego stosowania PPE dla każdego scenariusza zastosowania.

Same maski przeciwpyłowe nie zapewniają ochrony przed oparami i są przeciwwskazane.

W tabeli 1 przedstawiono zalecany typ RPE dla typowych scenariuszy zastosowania żywicy UP.

Eye and face protection



Okulary ochronne muszą być zawsze utrzymywane w dobrym

Ochrona oczu i twarzy

Okulary ochronne z osłonami bocznymi chronią przed przemieszczającymi się w powietrzu cząsteczkami i oferują ograniczoną ochronę przed pyłem i rozpryskami. Gogle chemiczne oraz osłona twarzy lub przyłbica muszą być noszone w sytuacjach, kiedy istnieje potencjalne zagrożenie bezpośrednim stykiem oczu ze styrenem lub żywicą UP, podczas pracy z chemikaliami pod ciśnieniem i w czasie manipulowania nadtlenkami organicznymi.

Ochronę oczu można uzyskać również stosując respirator z pełną maską. Ochronę oczu należy zabezpieczyć przed zaparowaniem lub powinna być zaprojektowana tak, aby zapewniać wystarczającą cyrkulację powietrza celem uniknięcia pogorszenia widzenia w wyniku kondensacji. Operatorzy korzystający z zalecanych przez lekarza okularów muszą zostać wyposażeni w odpowiednią ochronę oczu, dostosowaną do zakładania na okulary. Noszący soczewki kontaktowe również muszą stosować odpowiednią ochronę oczu w środowiskach niebezpiecznych.

Wszystkie środki ochrony oczu i twarzy muszą być odpowiednio konserwowane. Zarysowane lub zabrudzone okulary, gogle i przyłbice ograniczające widzenie oraz powodujące odbicia mogą przyczyniać się do wypadków.

Sytuacje awaryjnego przemycania oczu

Należy przewidzieć urządzenia do awaryjnego przemycania oczu w obszarach, w których pracownicy mogą być narażeni na przypadkowe rozpryski materiałów żrących, takich jak nadtlenki organiczne.

Urządzenia takie muszą zostać wyraźnie oznakowane, muszą być regularnie kontrolowane i umieszczone w miejscach łatwo dostępnych w sytuacjach awaryjnych.



Ochrona rąk

W celu ochrony skóry przed kontaktem lub absorpcją środków chemicznych stosowanych w przemyśle przetwórstwa żywic UP należy zakładać odpowiednie rękawice odporne chemicznie. W przypadku bezpośredniego lub ciągłego kontaktu z żywicami UP zalecane są rękawice z alkoholu poliwinylowego (PVA), Viton® i laminowane rękawice foliowe.

Rękawice wykonane z gumy nitylowej lub polichlorku winylu (PVC) można stosować do ochrony przez rozpryskami i w przypadku krótkiego lub przerywanego kontaktu z żywicą UP, ale nie nadają się one do manipulowania acetonem, styrenem lub metakrylanem metylu. Nigdy nie wolno stosować lateksowych rękawic chirurgicznych z gumy naturalnej, ponieważ są one przenikliwe dla środków chemicznych i mogą powodować reakcje alergiczne u osób wrażliwych.

Rękawice należy przed każdym użyciem sprawdzić i natychmiast należy je wymienić lub wyrzucić jeżeli posiadają jakiegokolwiek ślady degradacji, penetracji lub całkowitego zanieczyszczenia.

Po pracy ze środkami chemicznymi zawsze należy umyć ręce mydłem i wodą. dodatkowe instrukcje dotyczące doboru i stosowania rękawic, patrz arkusz danych substancji niebezpiecznej dostawcy PPE.

W celu zapewnienia ochrony wtórnej skóry, w dodatku do rękawic, dostępne są kremy barierowe.



Ochrona ciała

Odzież ochronna powinna chronić przed zwykłym zanieczyszczeniem, a w szczególności, pyłami żywicy i włóknem szklanym. Kombinezony chroniące całe ciało lub odzież robocza z długimi rękawami jest bardzo zalecana celem zapobieżenia podrażnieniu skóry przez włókno szklane.

Zwykła odzież ochronna nie chroni przed bezpośrednim kontaktem z płynnymi żywicami, rozpuszczalnikami i nadtlenkami organicznymi. Odzież lub buty zanieczyszczone szkodliwymi pyłami muszą zostać natychmiast usunięte, a skóra musi zostać umyta mydłem i wodą, celem uniknięcia uszkodzenia.

Ochrona słuchu

Urządzenia ochrony słuchu powinny być dostępne w czasie wszelkich czynności, przy których pracownicy są narażeni na hałas o poziomie powyżej 80 dBA. Właściwe założoną indywidualną ochronę słuchu, korki do uszu lub osłony uszu należy stosować przy ekspozycji na hałas o poziomie równym lub wyższym niż 85 dBA.

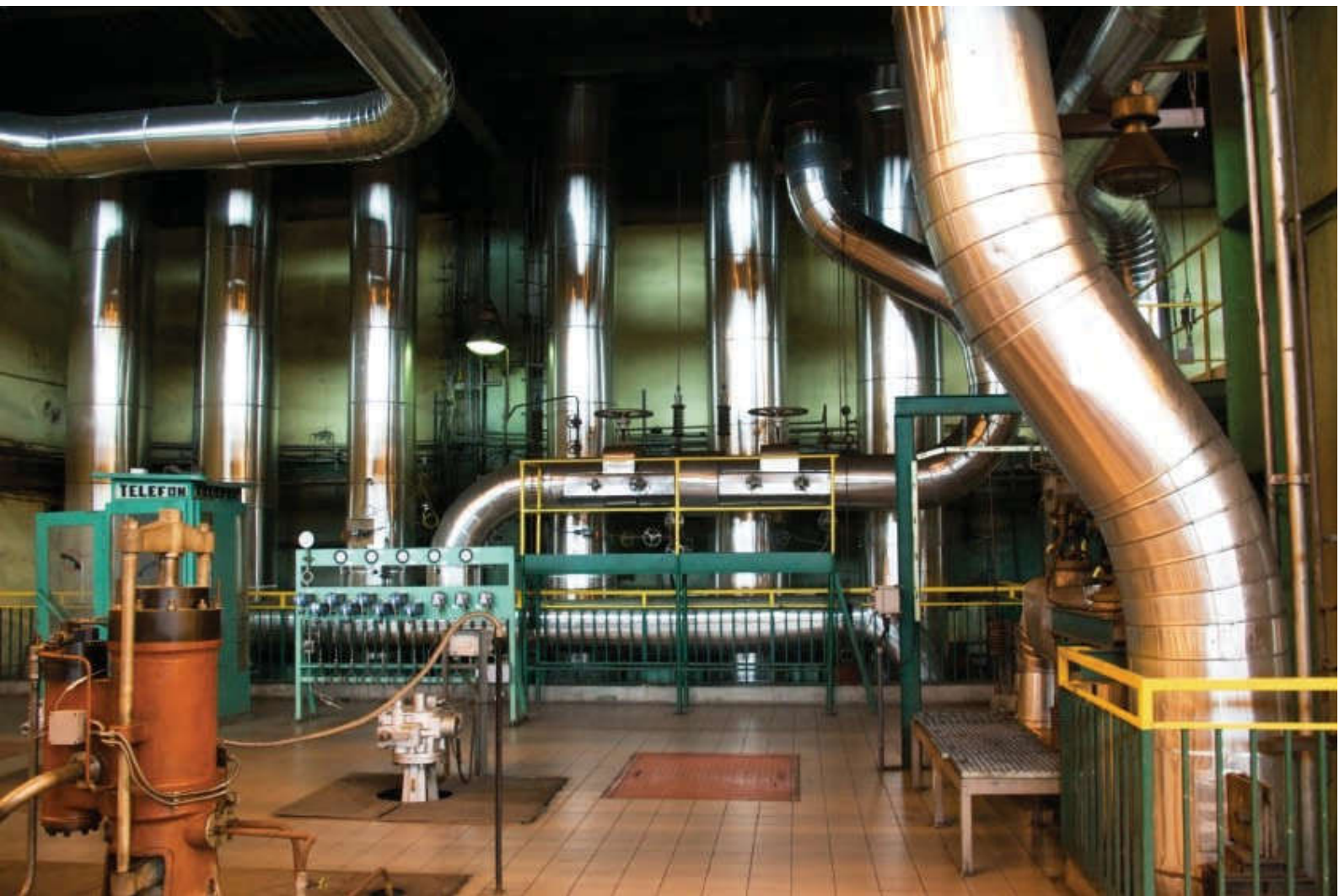
Dostępne są lekkie naszniki, które łączą wygodę z silnym tłumieniem hałasu (zwykle znamionowe dla pojedynczego szumu lub z SNR w zakresie 25–30 dB).



Tabela 1: Zalecane typy RPE dla czynności obejmujących zastosowanie żywic UP

Czynność i czas trwania	Zalecany RPE	Diagram
Możliwość krótkotrwałego / przypadkowego narażenia (usuwanie odpadów, konserwacja sprzętu, czyszczenie). < 15 minut	Półmaska wielokrotnego użytku – filtr do gazów/oparów (BS EN 140 i BS EN 14387; BS EN 405; BS EN 1827) Filtr typu A1 Pary organiczne (BP> 65oC) APF 10	
Krótkotrwałe czynności niskoenergetyczne (zanurzanie, nalewanie, nakładanie pędzlem) < 1 godziny	Maska pełnotwarzowa aparaty oddechowe – filtr do gazów/oparów (BS EN 136 dla maski i BS EN 14387 dla filtra) Filter Type A1 Organic Vapours (BP> 65oC) APF 20	
Krótkotrwałe czynności wysokoenergetyczne (natrysk, nakładanie pędzlem) <1 hour	Zasilane aparaty oddechowe z maską (BS EN 12942) Filter Type A1 Organic Vapours (BP> 65oC) Filtr cząstek stałych (P3) – aerozole EN143 APF 20 - APF 40	
Zastosowania niskoenergetyczne (nakładanie pędzlem, wałkiem) > 1 godziny > 4 godzin	Zasilane aparaty oddechowe z kapturem/hełmami (BS EN 12941) Filter Type A1 Organic Vapours (BP> 65oC) APF 20- APF 40	
Operacje mające na celu natryskiwanie > 1 hour > 4 godzin	Aparat oddechowy z ciągłym przepływem powietrza z kapturem/hełmem (BS EN 14594) APF 200	

Metody ograniczania poziomu



Dostępnych jest wiele technik ograniczania emisji lotnych związków organicznych (VOC) do środowiska. Niektóre z nich mają lepsze zastosowanie w przypadku powietrza o niskiej zawartości oparów organicznych. Taka sytuacja jest często spotykana podczas wytwarzania elementów z nienasyconych żywic poliestrowych wzmocnianych włóknami w przypadku stosowania technik formowania otwartego.

W tym biuletynie informacyjnym opisano różne procesy które mogą być stosowane do oczyszczania powietrza wylotowego w zakładach przetwarzających poliestry.

Zapobieganie zanieczyszczeniu

Najbardziej efektywną techniką ograniczania jest zapobieganie ulatnianiu się lotnych związków organicznych (VOC) do miejsca pracy i do atmosfery. Stosowanie żywic o niskim poziomie emisji styrenu oraz żywic o niskiej zawartości styrenu jest wskazane w przypadku technik formowania otwartego. Pozwala ono ograniczyć poziom emisji lotnych związków organicznych (VOC) w porównaniu z konwencjonalnymi żywicami.

Jeszcze lepsze efekty przynosi stosowanie technik formowania zamkniętego takich jak metoda worka próżniowego, metoda RTM, lekkiej RTM (z użyciem lekkiej niedrogiej formy męskiej) oraz prasowanie formy na zimno i na gorąco.

Rodzaje technik ograniczania

Do kontroli emisji styrenu stosowane jest wiele technik ograniczania.

Metody odzyskiwania

Odzyskiwanie jest opłacalne tylko wtedy, gdy dostępne są duże ilości rozpuszczalnika, który może być odzyskany i sprzedany lub też przewidziano zastosowanie dla odzyskanego rozpuszczalnika w miejscu jego odzyskania. W przemyśle wytwarzającym plastiki wzmacniane włóknem szklanym gaz wylotowy ma niską zawartość lotnych związków organicznych (VOC), a to oznacza wysokie koszty inwestycyjne i operacyjne w przypadku odzyskiwania rozpuszczalnika i dlatego nie ma wyraźnego uzasadnienia ekonomicznego dla stosowania systemów odzyskiwania w przypadku tego przemysłu.

Odzyskiwanie rozpuszczalnika

- Odzyskiwanie adsorpcyjne, zmiennociśnieniowe lub termiczne (z użyciem zeolitów, adsorbentów polimerowych lub węgla aktywnego)
- Kondensacja (kriogeniczna)
- Absorpcja olejów

Rozpad rozpuszczalnika

- Utlenianie na miejscu za pomocą utleniacza termicznego lub katalitycznego (regeneracyjnego lub rekuperacyjnego)
 - Bio-filtr lub bio-skruber
 - Adsorpcja na złożu protektorowym (węgiel aktywny)
 - Adsorpcja na płynie protektorowym
 - Układy stężeniowe połączone z utlenianiem
- ypołączonepołączonopotowarzysząceutlenianiem.

Techniki ograniczania polegające na usuwaniu oparów styrenu za pomocą spopielenia lub procesów biologicznych są bardziej wskazane do stosowania podczas przetwarzania poliestrów.

Odnosnie tych technik stosuje się następujące sprawdzone procesy:

Spopielenie

Spopielenie w wysokiej temperaturze lub spopielenie katalityczne (przy niższej temperaturze) pozwala uzyskać wysoką sprawność na poziomie około 99% z recyklingiem energii. By było to opłacalne ekonomicznie, do procesu jako paliwo należy stosować tylko palną substancję zanieczyszczającą i wtedy nie jest wymagane wprowadzanie dodatkowego paliwa (z wyjątkiem momentu rozpoczęcia procesu oraz podczas krótkich przerw).

Bezpośrednie utleniacze termiczne

Regeneracyjne utleniacze termiczne pozwalają uzyskać wysoką sprawność rozkładu (na poziomie 96-98%) z 90% odzyskiem ciepła podczas stosowania żwiru lub warstw ceramicznych. Mogą one działać autotermicznie i nie wymagają dodatkowej ilości rozpuszczalnika przy stopniu odzyskiwania rozpuszczalnika wynoszącym około 1g/m³. Dla stężeń przy wlocie poniżej tego poziomu, wymagane są dodatkowe źródła energii, gaz/elektryczność by utrzymać utleniacz w odpowiedniej temperaturze. Te utleniacze pozwalają odzyskać 1-5 g/m³ przy dużych przepływach powietrza i są one stosunkowo łatwe do stosowania przy niskich kosztach inwestycyjnych.

Porównawcze utleniacze termiczne wykorzystują raczej wymienniki ciepła zamiast żwiru czy warstwy ceramicznej do odzyskiwania ciepła, ograniczając przez to odzyskiwanie ciepła do poziomu około 70%. Dlatego wymagana jest większa ilość rozpuszczalnika w strumieniu wlotowym (2-3g/m³) niż w przypadku utleniaczy regeneracyjnych by uzyskać rozkład autotermiczny.

Bezpośrednie utleniacze katalityczne

Zaletą utleniaczy katalitycznych jest możliwość ich stosowania w niższych temperaturach i uzyskiwanie większej skuteczności w rozkładaniu niż w przypadku utleniaczy termicznych, co oznacza niższe koszty operacyjne. Jednakże wyższy koszt katalizatora z kolei zwykle powoduje zwiększenie kosztów inwestycyjnych. Systemy minikatalityczne mogą być stosowane dla niskich przepływów powietrza oraz w przypadku emisji ciągłej.

Systemy bio-filtracji

Bio-filtracja polega na bakteryjnym utlenianiu materiału organicznego co w rezultacie powoduje przemianę tego materiału taką jak spopielenie do postaci gazów opartych na węglu oraz oparów wodnych. Bio-filtry dobrze się sprawdzają w przypadku usuwania niskich stężeń rozpuszczalnika ale ich wadą jest czas wymagany do rozłożenia lotnych związków organicznych (VOC) oraz sprawność rozkładu i kontrola procesu.

Niektóre rozpuszczalniki są łatwo rozkładane przez mikroorganizmy w filtrach, ale większe cząsteczki takie jak styren wymagają dłuższego czasu przebywania by mogły one ulec rozpadowi, co oznacza konieczność stosowania większych systemów z większą powierzchnią. Sprawność waha się w przedziale od 60-70% dla bio-filtrów z długim okresem przebywania do 80-90% dla buforowanych bio-skruberów. Stężenia ekstrakcji są ograniczone do wartości 1g/m³ dla bio-skruberów oraz do 0.35g/m³ dla bio-filtrów. W przypadku warunków wlotowych a zwłaszcza temperatury (20 - 40 C) wymagana jest uważna kontrola by zapewnić optymalną sprawność rozkładu i by zredukować koszty. Warunki przetrwania oraz metabolizm mikroorganizmów zależy również od kontroli wilgotności.

Zmiany w stężeniu wlotowym mają wpływ na metabolizm mikroorganizmów, co w efekcie obniża sprawność w przypadku wyższych stężeń rozpuszczalnika przy wlocie.



Adsorpcja i adsorpcja na warstwach protektorowych

Te dwie technologie są podobne do siebie z wyjątkiem stosowanego materiału i obie mają podobne wady. Adsorpcja zwykle ma miejsce na filtrze węglowym, a absorpcja na płynie.

Gdy materiał zostanie nasycony to jest on przenoszony do regeneracji lub likwidacji. Te systemy nie są stosowane w przypadku instalacji wylotowych działających ciągle lub półciągle ale są stosowane tam gdzie substancja jest wydala w sposób przerywany. Stosowanie tej techniki wiąże się z wysokimi kosztami.

Systemy stężeniowe

Systemy stężeniowe są prawdopodobnie najlepszymi metodami do ograniczania lotnych związków organicznych (VOC) z instalacji wylotowych przy produkcji tworzyw wzmocnianych włóknami szklanymi. Wyróżnia się dwa typy systemów stężeniowych: koła obrotowe i złoża fluidalne. Obie metody służą do usuwania rozpuszczalników z wlotu powietrza poprzez adsorpcję z wykorzystaniem zeolitów lub adsorbentów polimerowych i desorbują do gorącego strumienia powietrza, które stanowi część strumienia pierwotnego.

Stężony strumień powietrza zawiera rozpuszczalnik w ilościach od 2 do 8 g/m³, który może być rozłożony w utleniaczu katalitycznym bez dodatkowego paliwa co pozwala zmniejszyć koszty stosowania tej metody. Wybór określonego układu stężeniowego? zależy od wymaganego wskaźnika stężenia uwzględniając fakt, że celem jest uzyskanie tak wysokiego wskaźnika stężenia jak to możliwe po to by zredukować koszty inwestycyjne (poprzez zmniejszenie rozmiarów układu) oraz koszty operacyjne (poprzez zapewnienie autotermiczności układu). Dodatkowo powstała energia cieplna może być użyta do ponownego ogrzania wymienianego powietrza.

W poniższej tabeli podane zostały warunki dla procesów oraz przybliżone koszty inwestycyjne dla niektórych wymienionych powyżej układów.

Literatura

Ocena środków kontroli emisji styrenu dla FRP/C i przemysłu budowy statków

<https://www.epa.gov/stationary-sources-air-pollution/clean-air-act-standards-and-guidelines-foam-fiber-plastic-and>

Emission Control Technologies, a guide for Composites Manufacturers. Ray Publishing.

Kontakty do firm związanych z ograniczaniem lotnych związków organicznych (VOC)

- Chematur Limited (Polyad)
- CSO Technic Limited (Therminodour)
- Air Protekt o Forbes Environmental Technologies
- Bioway

Firmy podane powyżej można znaleźć w internecie pod następującymi adresami

Chematur Limited (Polyad) <http://www.chematur.se/>

CSO Technic Limited (Therminodour) <http://www.csotech.com/>

Air Protekt <http://www.airprotekt.co.uk/>

Forbes Environmental Technologies

<http://www.forbes-group.co.uk/index.htm>

Bioway <http://www.bioway.nl/>



Technika	Przepustowość	Stężenie wlotowe	Stężenie wylotowe	Inwestycja €/1000Nm ³ /h	Zalety	Wady
Adsorpcja na aktywnym węglu	100-100.000 m ³ /h	10-10.000 mgr/m ³	5-100 mgr/m ³	5.000 – 10.000	- Prosta, solidna technika	Nasycony sorbent jest odpadem chemicznym
Bio filtracja	50 – 200 m ³ /m ² .h	50 – 500 mgr/m ³	> 10 mgr/m ³	5.000 – 20.000	- Prosta konstrukcja - Proces biologiczny	- Instalacja dla dużych objętości - Czula na zatrucie - Nieelastyczna w przypadku zmian stężenia
Utlenniacze katalityczne	1000 – 30.000 m ³ /h	> 1.000 – 2.000 mgr/m ³	< 20 – 50 mgr/m ³	10.000 – 40.000	- Wysoki zysk - Stosunkowo zwarta instalacja	- Użycie dodatkowego paliwa gdy nie ma autotermiczności
Utlenniacze termiczne	1000 – 30.000 m ³ /h	> 1.000 – 2.000 mgr/m ³	< 20 – 50 mgr/m ³	5.000 – 40.000	- Wysoki zysk - Stosunkowo zwarta instalacja - Możliwe odzyskiwanie ciepła	- Użycie dodatkowego paliwa gdy nie ma autotermiczności
Adsorpcja regeneracyjna Kriokondensacja	Nie dotyczy 0 – 1000 m ³ /h	500 – 5000 mgr/m ³ 200 – 1.000 gr/m ³	100 – 250 mgr/m ³ 1 – 5 gr/m ³	Nie dotyczy 500.000	- Nie generuje odpadów chemicznych - Zwarta technika - Odzyskiwanie lotnych związków organicznych (VOC)	- Emisja CO ₂ i NO _x - Złożona instalacja - Użycie ciekłego azotu - Nie odpowiednia do strumienia mokrego gazu



The European UP/VE Resin Association
(a Cefic Sector Group)
Avenue E. van Nieuwenhuysse 4,
1160 Brussels, Belgium
T +32 2 676 72 62
F +32 2 676 74 47
www.upresins.org



European Composites Industry Association (EuCIA)
Diamant Building
Bd A. Reyerslaan 80
1030 Brussels, Belgium
T. +32 2 706 89 06
www.eucia.eu

This publication is intended for guidance only and while the information is provided in good faith and has been based on the best information currently available, is to be relied upon at the user's own risk. The information contained in this document is provided in good faith and, while it is accurate as far as the authors are aware, no representations or warranties are made with regards to its completeness and no liability will be accepted for damages of any nature whatsoever resulting from the use of or reliance on the information contained in the publication.

Ostatnia aktualizacja: Moze 2021 r